

表面质量控制及检测

钢珠损伤对轴承套圈强化研磨加工 表面粗糙度和硬度的影响

萧金瑞^{a,b,c}, 刘晓初^{a,b,c}, 梁忠伟^{a,b,c}, 萧仲敏^{a,b}

(广州大学 a.机械与电气工程学院 b.广州市金属材料强化研磨高性能加工重点实验室
c.广东省强化研磨高性能微纳加工工程技术研究中心, 广州 510006)

摘要: 目的 探索在强化研磨加工中, 钢珠损伤对轴承套圈表面粗糙度和硬度的影响规律。方法 采用单一变量法改变钢珠循环使用次数, 分别对 11 个轴承套圈工件进行强化研磨加工实验。采用场发射扫描电子显微镜、粗糙度测量仪和洛氏硬度计分别检测所得钢珠和工件试样的表面微观形貌、表面粗糙度、表面硬度以及横截面形貌, 并分析钢珠损伤与工件试样表面粗糙度、硬度的关系。结果 在工艺条件保持不变的前提下, 随着循环使用次数的增加, 钢珠表面由微点蚀向翘起及疏松损伤演化, 加工所得工件表面粗糙度和硬度增量也随之下降。循环使用 150 次以内, 钢珠表面损伤以微点蚀为主, 损伤程度较轻微, 加工所得工件强化层厚度在 50 μm 以上, 表面平均粗糙度为 1.2~1.6 μm, 表面平均硬度增量为 1~1.3HRC。循环超过 150 次后, 钢珠表面由翘起微颗粒和薄片向疏松表层缺陷演化, 损伤程度加重, 加工所得工件强化层厚度低于 50 μm, 表面平均粗糙度下降至 1.0 μm, 表面硬度增量则在 0.06~0.6HRC 之间。结论 本研究实验条件下, 钢珠循环使用次数不宜超过 150 次, 否则将导致加工所得工件的表面粗糙度和硬度增量显著下降。

关键词: 强化研磨; 钢珠损伤; 循环次数; 表面粗糙度; 表面硬度; 强化层

中图分类号: TG580 文献标识码: A 文章编号: 1001-3660(2018)12-0290-06

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2018.12.039

Effect of Steel Bead's Damage on the Surface Roughness and Hardness of Bearing Rings under Strengthen Grinding Processing

XIAO Jin-rui^{a,b,c}, LIU Xiao-chu^{a,b,c}, LIANG Zhong-wei^{a,b,c}, XIAO Zhong-min^{a,b}

(a.School of Mechanical & Electric Engineering, b.Guangzhou Key Laboratory for Strengthened Grinding and High Performance Machining of Metal Material, c.Guangdong Engineering and Technology Research Centre for Strengthen Grinding and High Performance Micro-nanomachining, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the influence rule of steel bead damage on the surface roughness and hardness of bear-

收稿日期: 2018-06-03; 修订日期: 2018-08-15

Received: 2018-06-03; Revised: 2018-08-15

基金项目: 国家自然科学基金项目 (U1601204, 51575116); 广东省科技计划项目 (2017A010102014, 2016A010102022); 广东省教育厅省级重大项目 (2016KZDXM037); 广州市工业转型升级专项资金项目 (穗工信函[2016]388 号); 广州市教育系统创新学术团队项目 (1201610013); 广州市科技计划项目 (201707010293)

Fund: The National Natural Science Foundation of China (U1601204, 51575116), Science and Technology Planning Project of Guangdong Province (2017A010102014, 2016A010102022), Major Projects of Guangdong Education Department (2016KZDXM037), Industrial Transformation and Upgrading Special Funds of Guangzhou (Panicle Letter [2016]388), Innovative Academic Team Project of Guangzhou Education System (1201610013), Science and Technology Planning Project of Guangzhou (201707010293)

作者简介: 萧金瑞 (1988—), 男, 硕士研究生, 实验师, 主要研究方向为金属材料表面强化技术。

Biography: XIAO Jin-rui (1988—), Male, Master, Experimentalist, Research focus: surface hardening technology of metal materials.

通讯作者: 刘晓初 (1964—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为智能制造及装备技术。邮箱: gdliuxiaochu@163.com

Corresponding author: LIU Xiao-chu (1964—), Male, Doctor, Professor, Research focus: intelligent manufacturing and equipment technology.
E-mail: gdliuxiaochu@163.com

ing rings under strengthened grinding process. Single variable method was used to change the steel bead's cycle index and 11 bearing ring workpieces were respectively processed by strengthened grinding. The surface morphology, roughness, hardness and cross sectional morphology of workpiece specimens and steel bead were tested by field emission scanning electron microscopy respectively, roughness measuring instrument and Rockwell hardness apparatus. Then the relationship between surface roughness and hardness of workpiece and damage of steel bead was analyzed. The steel bead damage evolved from micro-pitting to up-warping and loosened damage with the increase of recycle index of steel bead when the technological conditions kept unchanged and the surface roughness and hardness increment of workpieces also declined. Within 150 cycles, the surface damage of steel bead was mainly micro-pitting corrosion with minor damage and the thickness of strengthened layer, the average surface roughness and hardness of the workpiece obtained from the processing are over 50 μm , 1.2~1.6 μm and 1~1.3HRC respectively. After over 150 cycles, the steel bead damage evolved from upturned microparticles and thin sheets to loosened surface defects with further damage. Furthermore, the thickness of the workpiece strengthened layer obtained by machining was less than 50 μm and the average surface roughness decreased linearly from 1.2 μm to 1.0 μm , while the surface hardness increment was between 0.06HRC and 0.6HRC. The steel bead recycle index should not be more than 150 times under the condition of this experiment. Otherwise, the increment of surface roughness and hardness on processed workpieces decreases obviously.

KEY WORDS: strengthened grinding; steel bead damage; cycle index; surface roughness; surface hardness; strengthened layer

强化研磨加工技术是近年发展起来的抗疲劳、磨损、腐蚀的长寿命加工新技术，其基本原理是将由钢珠、研磨粉、强化研磨液以及高压气体组成的气液固三相混合喷射流斜向喷射至金属工件表面（如图 1），在研磨微切削的同时，实现纳米孪晶强化、位错强化、残余应力强化以及摩擦化学表面改性。通过强化研磨加工可显著提高金属工件的表面物理化学性能及可靠性^[1-3]。然而，在气液固三相混合流场作用下，金属工件易受喷射流冲击以及微冲蚀等作用。此外，作为三相混合喷射流主要成分的钢珠易诱发疲劳损伤，影响工件表面粗糙度和硬度，进而导致加工质量下降。近年来，课题组对强化研磨加工工艺进行了

大量研究，并取得了一系列成果，但钢珠损伤对强化研磨加工所得工件的表面粗糙度和硬度的影响规律尚未被揭示，使得强化研磨加工质量未能获得保障^[4-8]。

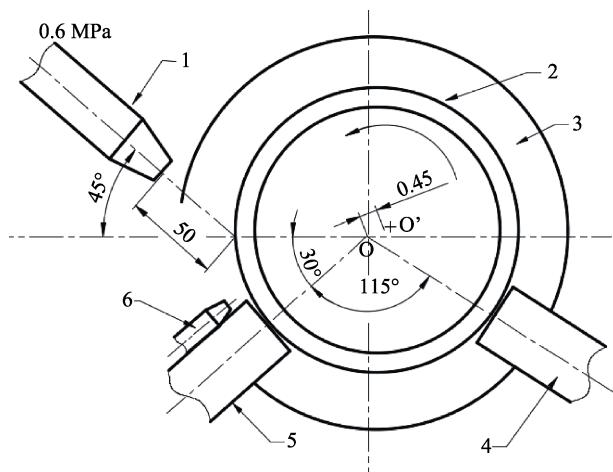
已有研究表明，在高速冲击作用下，钢珠损伤以剪切应变为主，最终表现为裂纹扩展损伤。表层剥落后，锋锐的棱角在往复循环冲击中被去除，重新形成光滑的小钢珠^[9-11]。而在交变应力循环作用下，滚动摩擦为主的钢珠损伤则以剥层脱落为主，且与其内部显微组织结构、表面粗糙度及滚动环境密切相关^[11-14]。但上述研究均未涉及钢珠损伤对强化研磨加工所得工件的表面粗糙度和硬度的影响。

基于此现状，本文着重研究钢珠损伤对强化研磨加工所得工件的表面粗糙度及硬度的影响，通过实验手段探索其中规律，进而避免因钢珠损伤而带来的强化研磨加工质量问题，为强化研磨加工技术的可靠发展提供理论支撑。

1 试样制备与实验

实验所设定的加工工艺参数和各研磨料组分质量配比，如表 1 所示。

实验加工对象为经超精加工的 6207 轴承外圈，试样表面粗糙度为 $(0.36 \pm 0.02) \mu\text{m}$ ，三相混合喷射流中的钢珠为粒径 2 mm 的 G10 轴承钢珠。轴承外圈和钢珠的材料性能如表 2 所示。在强化研磨加工中，三相混合喷射流斜向喷射至被加工件表面，钢珠运动可分解为法向碰撞和切向滑移。钢珠法向撞击使工件表面发生塑性变形而形成强化层，切向滑移则给研磨粉微粒施加划擦力，形成微切削作用，去除材料并改变工件表面粗糙度。



O—Center axis of centerless fixture; O'—Axe center of bearing ring; 1—Abrasive high pressure sprinkler; 2—Bearing ring; 3—Electromagnetic sucker; 4—Right support; 5—Left support; 6—Nitrogen nozzle

图 1 强化研磨加工原理

Fig.1 Principle of strengthened grinding processing

表 1 强化研磨加工实验工艺参数及研磨料配比
Tab.1 Technological parameter and abrasive mix of strengthened grinding processing experiment

| Procedure | Jet pressure/MPa | Jet angle/(°) | Jet distance/mm | Rotation rate/(r·min ⁻¹) | Partiality distance/mm | Nitrogen jet pressure/MPa |
|-----------|------------------|---------------|-----------------|--------------------------------------|------------------------|---------------------------|
| Set-point | 0.6 | 45 | 50 | 100 | 0.45 | 0.4 |
| Element | Corundum (100#) | | | Steel bead (2 mm) | Triethanolamine | Extrusion additive |
| Weight/g | 200 | | | 2500 | 25 | 100 |

表 2 钢珠及轴承外圈试样材料性能及成分
Tab.2 Material properties and composition of steel bead and bearing outer ring specimen

| Property | Hardness (HRC) | Yield limit/ MPa | Young's modulus/GPa | Cr/% | C/% | Mn/% | Si/% | O/% | Fe/% |
|--------------------|----------------|------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| G10 Steel bead | 63~65 | 1844 | 220 | 1.50~1.55 | 1.05~1.08 | 0.30~0.41 | 0.35~0.43 | 4.23~4.42 | Bal. |
| Bearing outer ring | 60~61 | 1744 | 217 | 1.72~1.76 | 0.93~1.00 | 0.20~0.30 | 0.03~0.07 | 3.99~4.13 | Bal. |

取 11 个 6207 深沟球轴承外圈（编号为 1—11）进行强化研磨加工实验，钢珠每循环 25 次碰撞即完成一个外圈加工。采用单一变量法，更换新的研磨料（钢珠除外）进行下一外圈的加工，以保证每个外圈加工时，研磨料状态相同。分别采用 TIME3030 粗糙度测量仪和 HR-150A 洛氏硬度计，对加工前、后的轴承套圈表面粗糙度和表面硬度进行测量，以评价强化研磨加工效果。同时，采用场发射扫描电子显微镜观测其表面微观形貌，每隔 25 次随机取一颗钢珠样品，以评价其损伤情况。

2 试验结果与分析

2.1 钢珠损伤形貌分析

如图 2 所示，在相同工艺条件下，随着循环使用次数的增加，钢珠表面损伤程度也随之加重。循环使用 150 次以内，钢珠表面形貌以微点蚀为主，损伤程度较轻。当循环使用次数由 175 次增加至 200 次时，钢珠表面损伤则由翘起微颗粒发展为翘起薄片，损伤程度加重；循环使用超过 200 次后，钢珠表面则出现大量疏松表层，力学稳定性下降，在外力作用下，将有可能形成大片剥落，进而使钢珠粒径变小。这是因为，随着循环使用次数的增加，钢珠自身因损伤而消耗的能量也随之增加，而作用于工件表面的能量则逐渐减少，进而可能使被加工区域塑性变形量减小，强化效果下降。

2.2 轴承外圈表面粗糙度变化

随着钢珠循环使用次数的增加，加工所得轴承套圈表面平均粗糙度呈缓慢下降趋势（如图 3）。钢珠循环 25 次至 125 次，加工所得套圈表面平均粗糙度约为 1.2 μm。循环超过 150 次后，加工所得表面平均粗糙度则呈线性下降趋势，由 1.2 μm 下降至 1.0 μm。

从微切削角度来看，棕刚玉研磨粉可以看作是切削刀具的细小切削刃，钢珠则可以看作是切削刀具的刀杆，起动力传递作用。在相同的工艺条件下，随着循环使用次数的增加，钢珠表面产生微点蚀、翘起薄片以及疏松表层等损伤缺陷，表面光洁度下降。若将研磨粉微粒与钢珠看作一个整体，其与工件表面之间的摩擦系数则随着表面光洁度的下降而增大，因摩擦而损耗的动能也随之增加，微切削力逐渐下降，最终使得强化研磨加工中的微切削量减小。此外，由于本实验采用的轴承套圈工件均经超精加工，强化研磨微切削后，其表面粗糙度会比初始状态大。因此，随着钢珠循环使用次数的增加，由微切削引起的套圈表面粗糙度呈下降趋势。

从能量转化角度来看，撞击工件前，钢珠的动能转化为微切削、工件材料弹塑性变形、摩擦发热、钢珠反弹以及钢珠弹塑性变形等所需的能量。在相同的工艺条件下，随着钢珠表面损伤缺陷的增加，其消耗的能量也随之增加，则使得用于工件材料弹塑性变形的能量逐渐减少，最终导致工件材料变形量也逐渐下降。在循环 25 到 125 次之间，钢珠处于损伤初始阶段，产生的缺陷较少（见图 2b—f），其自身材料及物理性能维持在恒定水平。因此，该阶段碰撞过程中，钢珠自身所消耗的动能变化不大，传递给轴承套圈的能量也较为稳定，则套圈表层发生的塑性变形量在较小范围内波动，进而使得其表面平均粗糙度在 1.2~1.3 μm 之间波动。而循环 150 次后，钢珠表面细微点蚀区发展成翘起薄片和疏松表层（见图 2g—k）。此阶段，钢珠自身消耗动能显著增大，同时，由于翘起薄片以及疏松表层的存在，钢珠力学性能逐渐下降，碰撞瞬间，缓冲作用下吸收的能量也逐渐增大。因此，在钢珠初始动能不变的前提下，传递至轴承套圈的能量逐渐减少，进而轴承套圈表面发生的塑性变形量也逐渐减小，使得其表面粗糙度随着钢珠循环次数的增加而呈线性下降。

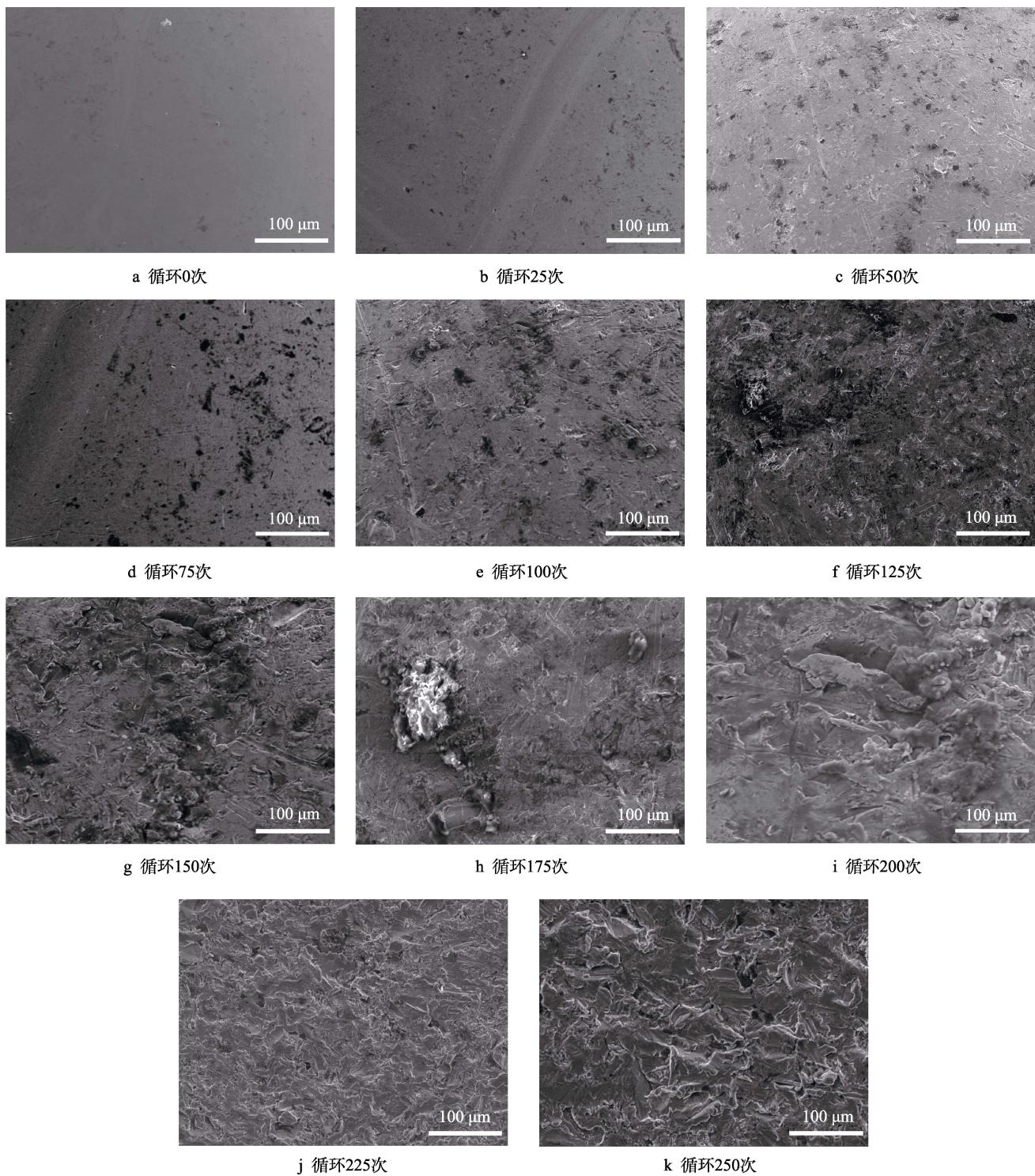


图 2 不同循环次数的钢珠表面 SEM 微观貌

Fig.2 Surface SEM microstructure of steel bead samples with different cycles: a) 0 cycles; b) 25 cycles; c) 50 cycles; d) 75 cycles; e) 100 cycles; f) 125 cycles; g) 150 cycles; h) 175 cycles; i) 200 cycles; j) 225 cycles; k) 250 cycles

2.3 轴承外圈表面硬度变化

在每个试样上均匀选取 10 个测试点进行表面硬度检测，去除最大值和最小值后，取平均值代表该试样的表面硬度。加工前工件表面硬度在 61~62.5HRC 之间，加工后则变为 61~63.5HRC（如图 4a）。随着钢珠循环使用次数的增加，加工后，试样表面平均硬

度增量减小（如图 4b）。钢珠循环次数低于 125 次时，所得试样表面平均硬度增量在 1~1.3HRC 之间。当循环次数超过 150 次后，所得试样表面硬度增量减小至 0.06~0.6HRC 之间，强化效果显著下降。

在三相混合喷射流的冲击碰撞作用下，轴承套圈试样表层材料发生孪晶位错和晶粒细化，形成强化层，进而使得金属材料硬度增加^[15-18]。由图 5 可知，

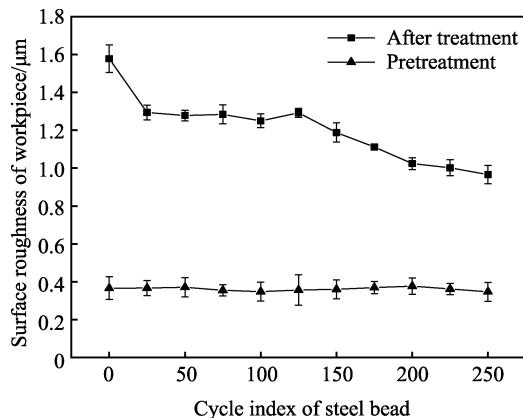
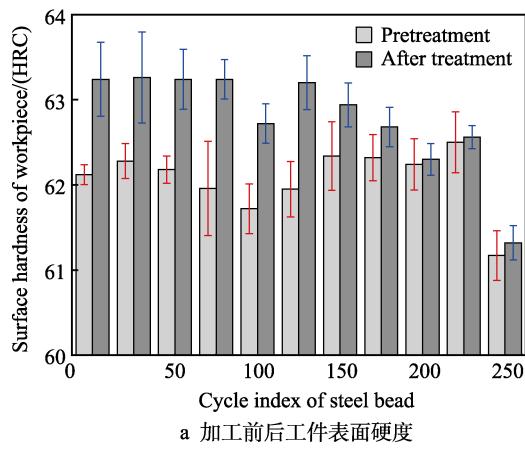
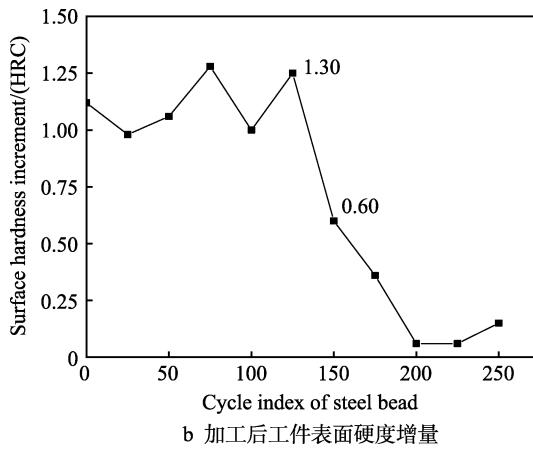


图3 工件表面平均粗糙度随钢珠循环使用次数的变化情况
Fig.3 Change of the average surface roughness of workpiece with the increasing of steel bead's cycle index



a 加工前后工件表面硬度

随着钢珠循环使用次数的增加，轴承套圈试样晶粒细化的强化层的厚度依次减小，其表面硬度增量也随之减小。在循环0~100次的阶段，钢珠表面损伤表现为轻微点蚀（见图2a—e），整体性能变化不大，且因损伤而消耗的动能也不大，此外，加工所得试样强化层晶粒细化充分且深度超过80 μm，故其表面平均硬度增量几乎相等。循环超过150次后，钢珠表面损伤表现为翘起薄片和疏松表层（见图2g—k），因损伤而消耗自身大量能量，加工所得试样强化层厚度下降至50 μm以下，孪晶位错和晶粒细化不充分，晶粒尺寸仍较大，使得其表面平均硬度值增量不明显。此外，由于强化层厚度低于80 μm，小于洛氏硬度计金刚石压头压入深度^[19~20]，测量误差较大，导致加工前、后表面平均硬度的标准差重合。



b 加工后工件表面硬度增量

Fig.4 Change of the average surface hardness of workpiece before and after processing with the increasing of steel bead's cycle index: a) surface hardness of workpiece before and after processing; b) surface hardness increment of workpiece after processing

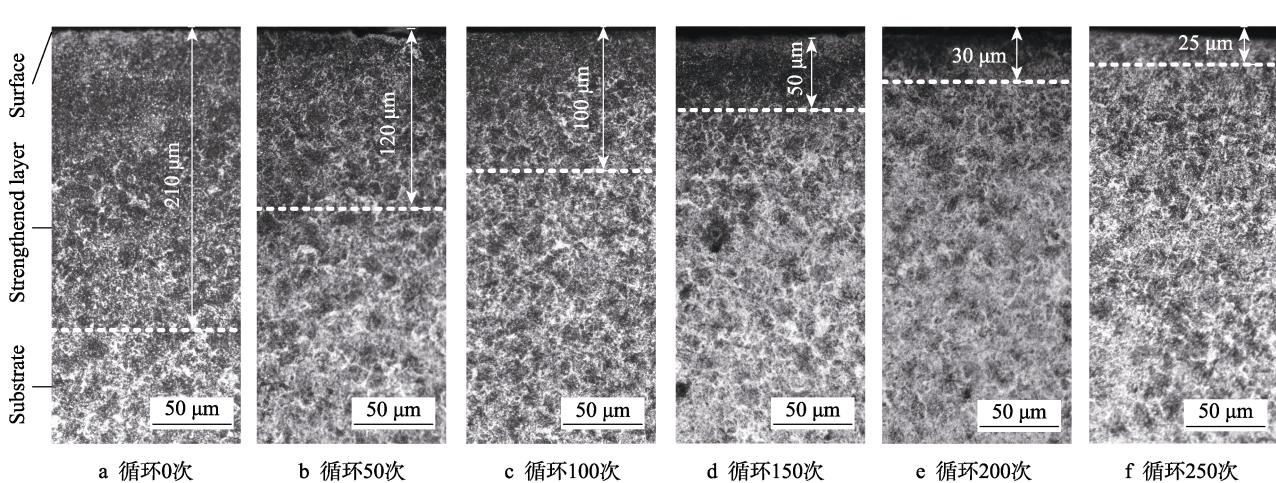


图5 不同循环使用次数下的钢珠加工所得的轴承套圈试样横截面SEM微观形貌

Fig.5 SEM microstructure of cross section on bearing ring specimens after processing with steel bead of different cycles: a) 0 cycles; b) 50 cycles; c) 100 cycles; d) 150 cycles; e) 200 cycles; f) 250 cycles

3 结论

1) 随着循环使用次数的增加，钢珠表面损伤程度也随之加重。循环150次以内，钢珠表面损伤以微

点蚀为主；循环175~200次，以翘起微颗粒与翘起薄片损伤为主；超过200次后，钢珠表面则出现大量疏松损伤表层。

2) 循环使用25~125次之间，钢珠处于轻微损伤

阶段，加工所得套圈表面平均粗糙度约为 $1.2 \mu\text{m}$ 。而循环次数超过 150 次后，钢珠损伤程度加重，加工所得表面平均粗糙度由 $1.2 \mu\text{m}$ 线性下降至 $1.0 \mu\text{m}$ 。

3) 加工所得试样表面平均硬度增量随着钢珠循环使用次数的增加而逐渐减小。循环 0~125 次，钢珠处于轻微损伤阶段，所得试样表面平均硬度增量在 1~1.3HRC 之间。循环次数超过 150 次后，随着钢珠损伤程度的加重，所得试样表面硬度增量则随之减小至 0.06~0.6HRC。

4) 本研究实验条件下，钢珠循环使用次数不宜超过 150 次，否则将导致加工所得工件材料塑性变形不充分，进而使得其表面粗糙度和硬度增量显著下降。

参考文献：

- [1] 刘晓初, 萧金瑞, 陶建华, 等. 一种耐磨合金钢工件表面的强化研磨方法: 中国, 103878703B[P]. 2014-06-25. LIU Xiao-chu, XIAO Jin-rui, TAO Jian-hua, et al. A wear-resistant alloy steel strengthening method for polishing the surface of the workpiece: China, 103878703B [P]. 2014-06-25.
- [2] 刘晓初, 陈志斌, 何铨鹏, 等. 强化研磨加工的仿真及试验[J]. 轴承, 2014(7): 35-37. LIU Xiao-chu, CHEN Zhi-bin, HE Quan-peng, et al. Simulation and experiment of strengthening and polishing process[J]. Bearing, 2014(7): 35-37.
- [3] LIANG Zhong-wei, SHAN Shi-yin, LIU Xiao-chu, et al. Fuzzy prediction of AWJ turbulence characteristics by using typical multi-phase flow models[J]. Engineering applications of computational fluid mechanics, 2017, 11(1): 225-257.
- [4] 刘晓初, 黄骏, 肖苏华, 等. 喷射时间对 GCr15 钢轴承套圈表面粗糙度的影响[J]. 金属热处理, 2014, 39(7): 81-85. LIU Xiao-chu, HUANG Jun, XIAO Su-hua, et al. Effect of jetting time on GCr15 steel bearing rings surface roughness[J]. Heat treatment of metals, 2014, 39(7): 81-85.
- [5] XIAO J R, LIU X C, XIE B H, et al. Study on the optimal velocity of reinforced grinding of bearing ring raceway[J]. Machine tool & hydraulics, 2014, 42(24): 56-61.
- [6] 陶建华, 卢永焰, 黎达成, 等. 强化研磨加工中喷头移动速度对工件表面粗糙度的影响[J]. 工具技术, 2016, 50(8): 73-75. TAO Jian-hua, LU Yong-yan, LI Da-cheng, et al. Effect of nozzle moving speed on surface roughness of workpiece in strengthening and polishing process[J]. Tool engineering, 2016, 50(8): 73-75.
- [7] 刘晓初, 赵传, 周文波, 等. 强化研磨喷射角度对轴承套圈加工质量的影响[J]. 工具技术, 2017, 51(3): 35-38. LIU Xiao-chu, ZHAO Zhuan, ZHOU Wen-bo, et al. Influence of bearing ring jet angle on grinding processing quality[J]. Tool engineering, 2017, 51(3): 35-38.
- [8] 刘晓初, 温溢恒, 梁忠伟, 等. 轴承钢丸直径配比对强化研磨内圈沟道面硬度及形貌的影响[J]. 机床与液压, 2017, 45(3): 123-126. LIU Xiao-chu, WEN Yi-heng, LIANG Zhong-wei, et al. Effect of bearing steel balls diameter ratio for surface hardness and morphology of bearing ring in reinforced
- [9] DU Hong-kui, DU Rui-jie. Q345R 钢中微缺陷的裂纹萌生与扩展[J]. 钢铁, 2015(3): 64-67.
- [10] DU Hong-kui, DU Rui-jie. Crack initiation and propagation of small defect in Q345R steel[J]. Iron and steel, 2015(3): 64-67.
- [11] 石小云, 刘如伟, 刘超, 等. 喷丸强化用钢丝切丸的磨损失效机理[J]. 机械工程材料, 2016, 40(11): 67-70. SHI Xiao-yun, LIU Ru-wei, LIU Chao, et al. Wear failure mechanism of cut wire shot used in shot peening[J]. Materials for mechanical engineering, 2016, 40(11): 67-70.
- [12] BAE J, CHUNG K H. Wear characteristics of metal ball and seat for metal-seated ball valve[J]. Journal of the korean society of tribologists and lubrication engineers, 2016, 32(1): 32-37.
- [13] ZHAO Xin-hua, LIU Ru-wei, WANG Hong-wei, et al. Wear failure process of high carbon cast steel shot for blast cleaning and rust removal of steel surface[J]. Journal of materials protection, 2009, 42(9): 7-9.
- [14] MATTI L, MARIAN A, KUOKKALA V T, et al. Experimental study on the behavior of wear resistant steels under high velocity single particle impacts[J]. International journal of impact engineering, 2015, 78: 114-127.
- [15] 冯博, 李煜佳, 梅林波, 等. 不同应力比下沉淀硬化不锈钢的超高周疲劳断裂机制[J]. 机械工程材料, 2017, 41(3): 29-32. FENG Bo, LI Yu-jia, MEI Lin-bo, et al. Ultra-high cycle fatigue fracture mechanism of a precipitation hardening stainless steel at different stress ratios[J]. Materials for mechanical engineering, 2017, 41(3): 29-32.
- [16] 裴江红, 廖振方. 电液压脉冲水气射流金属表面强化的研究[J]. 表面技术, 2011, 40(4): 19-22. PEI Jiang-hong, LIAO Zhen-fang. Study on metal surface peening by electro-hydraulic impuls water-air jet[J]. Surface technology, 2011, 40(4): 19-22.
- [17] 陈德淑, 廖振方, 赵健新. 电液压脉冲激活黑土的实验研究[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2005(8): 132-134. CHEN De-shu, LIAO Zhen-fang, ZHAO Jian-xin. Experiment on activation of black soil by electro-hydraulic impulse[J]. Journal of Chongqing University (natural science), 2005(8): 132-134.
- [18] LU Lin-qiong, SUI Man-ling, LU Ke. Superplastic extensibility of nanocrystalline copper at room temperature[J]. Science, 2000, 287(5457): 1463-1466.
- [19] LU K. Stabilizing nanostructures in metals using grain and twin boundary architectures[J]. Nature reviews materials, 2016, 1(5): 1-13.
- [20] 张永安, 朱俊杰, 程娜. 洛氏及表面洛氏硬度与压痕深度对照表[J]. 计量技术, 1985(6): 20-23. ZHANG Yong-an, ZHU Jun-jie, CHENG Na. Rockwell hardness and indentation depth comparison table[J]. Measurement technique, 1985(6): 20-23.
- [21] 李自武, 沈运杰, 苗森. 洛氏硬度计压痕测量系统检定方法探讨[J]. 计测技术, 2016, 36(4): 48-50. LI Zi-wu, SHEN Yun-jie, MIAO Miao. Discussion on verification method of indentation measuring system of rockwell hardness testing machine[J]. Measurement technique, 2016, 36(4): 48-50.